

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

IN RE APPLICATION OF: Yukio TANIGUCHI, et al.

GAU:

SERIAL NO: NEW APPLICATION

EXAMINER:

FILED: HEREWITH

FOR: CRYSTALLIZATION APPARATUS, CRYSTALLIZATION METHOD, AND PHASE SHIFTER

REQUEST FOR PRIORITY

COMMISSIONER FOR PATENTS
ALEXANDRIA, VIRGINIA 22313

SIR:

☐ Full benefit of the filing date of U.S. Application Serial Number _____, filed _____, is claimed pursuant to the provisions of 35 U.S.C. §120.

☐ Full benefit of the filing date(s) of U.S. Provisional Application(s) is claimed pursuant to the provisions of 35 U.S.C. §119(e):
Application No. _____ Date Filed _____

☒ Applicants claim any right to priority from any earlier filed applications to which they may be entitled pursuant to the provisions of 35 U.S.C. §119, as noted below.

In the matter of the above-identified application for patent, notice is hereby given that the applicants claim as priority:

COUNTRY

APPLICATION NUMBER

MONTH/DAY/YEAR

Japan

2002-262249

September 9, 2002

Certified copies of the corresponding Convention Application(s)

☒ are submitted herewith

☐ will be submitted prior to payment of the Final Fee

☐ were filed in prior application Serial No. _____ filed _____

☐ were submitted to the International Bureau in PCT Application Number _____

Receipt of the certified copies by the International Bureau in a timely manner under PCT Rule 17.1(a) has been acknowledged as evidenced by the attached PCT/IB/304.

☐ (A) Application Serial No.(s) were filed in prior application Serial No. _____ filed _____; and


☐ (B) Application Serial No.(s)

☐ are submitted herewith

☐ will be submitted prior to payment of the Final Fee

Respectfully Submitted,

OBLON, SPIVAK, McCLELLAND,
MAIER & NEUSTADT, P.C.



Marvin J. Spivak

Registration No. 24,913

Customer Number

22850

Tel. (703) 413-3000
Fax. (703) 413-2220
(OSMMN 05/03)

C. Irvin McClelland
Registration Number 21,124

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日 2 0 0 2 年 9 月 9 日
Date of Application:

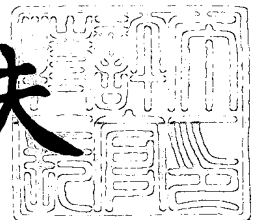
出 願 番 号 特 願 2 0 0 2 - 2 6 2 2 4 9
Application Number:
[ST. 10/C]: [J · P 2 0 0 2 - 2 6 2 2 4 9]

出 願 人 株式会社 液晶先端技術開発センター
Applicant(s):

2 0 0 3 年 8 月 6 日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今 井 康 夫



出証番号 出証特 2 0 0 3 - 3 0 6 2 8 5 1

【書類名】 特許願

【整理番号】 YJ-066

【あて先】 特許庁長官殿

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県横浜市戸塚区吉田町 2 9 2 番地 株式会社液晶
先端技術開発センター内

【氏名】 谷口 幸夫

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県横浜市戸塚区吉田町 2 9 2 番地 株式会社液晶
先端技術開発センター内

【氏名】 松村 正清

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県横浜市戸塚区吉田町 2 9 2 番地 株式会社液晶
先端技術開発センター内

【氏名】 山口 弘高

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県横浜市戸塚区吉田町 2 9 2 番地 株式会社液晶
先端技術開発センター内

【氏名】 西谷 幹彦

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県横浜市戸塚区吉田町 2 9 2 番地 株式会社液晶
先端技術開発センター内

【氏名】 辻川 晋

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県横浜市戸塚区吉田町 2 9 2 番地 株式会社液晶
先端技術開発センター内

【氏名】 木村 嘉伸

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県横浜市戸塚区吉田町 2 9 2 番地 株式会社液晶
先端技術開発センター内

【氏名】 十文字 正之

【特許出願人】

【識別番号】 501286657

【氏名又は名称】 株式会社液晶先端技術開発センター

【代理人】

【識別番号】 100095256

【弁理士】

【氏名又は名称】 山口 孝雄

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 033020

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 0207610

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 結晶化装置および結晶化方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 位相シフトマスクを照明する照明系を備え、前記位相シフトマスクの位相シフト部に対応する領域において光強度の最も小さい逆ピークパターンの光強度分布を有する光を多結晶半導体膜または非晶質半導体膜に照射して結晶化半導体膜を生成する結晶化装置において、

前記位相シフトマスクは、ほぼ直線状の境界線の両側に形成されて第 1 の位相差を有する第 1 領域および第 2 領域と、前記境界線に沿って前記第 1 領域および前記第 2 領域のうちの少なくとも一方の領域に形成された所定形状の微小領域とを備え、

前記微小領域が形成された前記第 1 領域または前記第 2 領域と前記微小領域との間には第 2 の位相差が付与されていることを特徴とする結晶化装置。

【請求項 2】 前記微小領域は、前記第 1 領域および前記第 2 領域の双方の領域に亘って形成され、

前記微小領域のうち前記第 1 領域内に形成された第 1 微小領域と前記第 1 領域との間および前記微小領域のうち前記第 2 領域内に形成された第 2 微小領域と前記第 2 領域との間には前記第 2 の位相差が付与されていることを特徴とする請求項 1 に記載の結晶化装置。

【請求項 3】 前記第 1 の位相差は約 1 8 0 度であることを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の結晶化装置。

【請求項 4】 前記第 1 領域と前記第 2 領域とは直線状の境界線の両側に形成され、前記微小領域は前記境界線に関して対称な形状を有することを特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれか 1 項に記載の結晶化装置。

【請求項 5】 前記多結晶半導体膜または前記非晶質半導体膜と前記位相シフトマスクとは互いにほぼ平行に且つ近接して配置されていることを特徴とする請求項 1 乃至 4 のいずれか 1 項に記載の結晶化装置。

【請求項 6】 前記第 2 の位相差は約 6 0 度であることを特徴とする請求項 5 に記載の結晶化装置。

【請求項 7】 前記位相シフトマスクへ入射する照明光の最大入射角度を θ とし、前記多結晶半導体膜または前記非晶質半導体膜と前記位相シフトマスクとの間隔を d とし、前記境界線と直交する方向に沿った前記第 1 微小領域または前記第 2 微小領域の寸法を a とするとき、

$$a \geq d \cdot \tan \theta$$

の条件を満足することを特徴とする請求項 5 または 6 に記載の結晶化装置。

【請求項 8】 前記多結晶半導体膜または前記非晶質半導体膜と前記位相シフトマスクとの間の光路中に配置された結像光学系をさらに備え、

前記多結晶半導体膜または前記非晶質半導体膜は、前記結像光学系を介して前記位相シフトマスクと光学的に共役な位置に設定され、

前記結像光学系の像側開口数は、前記逆ピークパターンの光強度分布を発生させるための所要の値に設定されていることを特徴とする請求項 1 乃至 4 のいずれか 1 項に記載の結晶化装置。

【請求項 9】 前記第 2 の位相差は約 180 度であることを特徴とする請求項 8 に記載の結晶化装置。

【請求項 10】 前記結像光学系の像側開口数を NA とし、光の波長を λ とし、前記境界線と直交する方向に沿った前記第 1 微小領域または前記第 2 微小領域の寸法を a とするとき、

$$a \leq \lambda / NA$$

の条件を満足することを特徴とする請求項 8 または 9 に記載の結晶化装置。

【請求項 11】 位相シフトマスクを照明し、前記位相シフトマスクの位相シフト部に対応する領域において光強度の最も小さい逆ピークパターンの光強度分布を有する光を多結晶半導体膜または非晶質半導体膜に照射して結晶化半導体膜を生成する結晶化方法において、

ほぼ直線状の境界線の両側に形成されて第 1 の位相差を有する第 1 領域および第 2 領域と、前記境界線に沿って前記第 1 領域および前記第 2 領域のうちの少なくとも一方の領域に形成された所定形状の微小領域とを備え、前記微小領域が形成された前記第 1 領域または前記第 2 領域と前記微小領域との間に第 2 の位相差が付与された位相シフトマスクを用いることを特徴とする結晶化方法。

【請求項 12】 前記微小領域は、前記第 1 領域および前記第 2 領域の双方の領域に亘って形成され、前記微小領域のうち前記第 1 領域内に形成された第 1 微小領域と前記第 1 領域との間および前記微小領域のうち前記第 2 領域内に形成された第 2 微小領域と前記第 2 領域との間には前記第 2 の位相差が付与されていることを特徴とする請求項 11 に記載の結晶化方法。

【請求項 13】 前記多結晶半導体膜または前記非晶質半導体膜と前記位相シフトマスクとを互いにほぼ平行に且つ近接して配置することを特徴とする請求項 11 または 12 に記載の結晶化方法。

【請求項 14】 前記多結晶半導体膜または前記非晶質半導体膜と前記位相シフトマスクとの間の光路中に結像光学系を配置し、

前記結像光学系の像側開口数を前記逆ピークパターンの光強度分布を発生させるための所要の値に設定し、

前記結像光学系を介して前記位相シフトマスクと光学的に共役な位置に前記多結晶半導体膜または前記非晶質半導体膜を設定することを特徴とする請求項 11 または 12 に記載の結晶化方法。

【請求項 15】 ほぼ直線状の境界線の両側に形成されて第 1 の位相差を有する第 1 領域および第 2 領域と、前記境界線に沿って前記第 1 領域および前記第 2 領域のうちの少なくとも一方の領域に形成された所定形状の微小領域とを備え、前記微小領域が形成された前記第 1 領域または前記第 2 領域と前記微小領域との間に第 2 の位相差が付与されていることを特徴とする位相シフトマスク。

【請求項 16】 前記微小領域は、前記第 1 領域および前記第 2 領域の双方の領域に亘って形成され、前記微小領域のうち前記第 1 領域内に形成された第 1 微小領域と前記第 1 領域との間および前記微小領域のうち前記第 2 領域内に形成された第 2 微小領域と前記第 2 領域との間には前記第 2 の位相差が付与されていることを特徴とする請求項 15 に記載の位相シフトマスク。

【請求項 17】 前記第 1 の位相差は約 180 度であることを特徴とする請求項 15 または 16 に記載の位相シフトマスク。

【請求項 18】 前記第 2 の位相差は約 60 度または約 180 度であることを特徴とする請求項 15 乃至 17 のいずれか 1 項に記載の位相シフトマスク。

【請求項 19】 請求項 1 乃至 14 のいずれか 1 項に記載の結晶化装置または結晶化方法を用いて結晶化された単結晶内にチャネルが形成された薄膜トランジスタを有することを特徴とする電子デバイス。

【請求項 20】 請求項 1 乃至 14 のいずれか 1 項に記載の結晶化装置または結晶化方法において用いられる位相シフトマスクであって、

前記第 1 領域と前記第 2 領域と前記微小領域とからなる位相シフトパターンが薄膜トランジスタのチャネルに対応する位置に形成されていることを特徴とする位相シフトマスク。

【請求項 21】 請求項 1 乃至 14 のいずれか 1 項に記載の結晶化装置または結晶化方法を用いて結晶粒が形成された結晶化半導体膜であって、

前記境界線と平行な方向に沿った前記結晶粒のサイズ W は、前記境界線と直交する方向に沿った前記結晶粒のサイズ L の $1/3$ 以上であることを特徴とする結晶化半導体膜。

【請求項 22】 前記境界線と平行な方向に沿った前記結晶粒のサイズ W は $1\ \mu\text{m}$ 以上であることを特徴とする請求項 21 に記載の結晶化半導体膜。

【請求項 23】 結晶成長の開始点から前記結晶粒を見込む角度が全体として 60 度以上であることを特徴とする請求項 21 または 22 に記載の結晶化半導体膜。

【請求項 24】 請求項 1 乃至 14 のいずれか 1 項に記載の結晶化装置または結晶化方法を用いて結晶粒が形成された結晶化半導体膜であって、

結晶成長の開始点から前記結晶粒を見込む角度が全体として 60 度以上であることを特徴とする結晶化半導体膜。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、結晶化装置および結晶化方法に関する。特に、本発明は、位相シフトマスクを用いて位相変調されたレーザ光を多結晶半導体膜または非晶質半導体膜に照射して結晶化半導体膜を生成する装置および方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】

従来、たとえば液晶表示装置 (Liquid-Crystal-Display: LCD) の画素に印加する電圧を制御するスイッチング素子などに用いられる薄膜トランジスタ (Thin-Film-Transistor: TFT) の材料は、非晶質シリコン (amorphous-Silicon) と多結晶シリコン (poly-Silicon) とに大別される。

【0003】

多結晶シリコンは、非晶質シリコンよりも電子移動度が高い。したがって、多結晶シリコンを用いてトランジスタを形成した場合、非晶質シリコンを用いる場合よりも、スイッチング速度が速くなり、ひいてはディスプレイの応答が速くなる。また、周辺LSIを薄膜トランジスタで構成することが可能になる。さらに、他の部品の設計マージンを減らせるなどの利点がある。また、ディスプレイ本体以外にドライバ回路やDACなどの周辺回路をディスプレイに組み入れる場合に、それらの周辺回路をより高速に動作させることができる。

【0004】

多結晶シリコンは結晶粒の集合からなるが、結晶シリコンに比べると電子移動度が低い。また、多結晶シリコンを用いて形成した小型のトランジスタでは、チャネル部における結晶粒界数のバラツキが問題となる。そこで、最近、電子移動度を向上させ且つチャネル部における結晶粒界数のバラツキを少なくするために、大粒径の単結晶シリコンを生成する結晶化方法が提案されている。

【0005】

従来、この種の結晶化方法として、多結晶半導体膜または非晶質半導体膜と平行に近接させた位相シフトマスクにエキシマレーザ光を照射して結晶化半導体膜を生成する「位相制御ELA (Excimer Laser Annealing)」が知られている。位相制御ELAの詳細は、たとえば「表面科学Vol.21, No.5, pp.278-287, 2000」に開示されている。

【0006】

位相制御ELAでは、位相シフトマスクの位相シフト部に対応する点において光強度がほぼ0の逆ピークパターン（中心において光強度がほぼ0で周囲に向かって光強度が急激に増大するパターン）の光強度分布を発生させ、この逆ピーク

パターンの光強度分布を有する光を多結晶半導体膜または非晶質半導体膜に照射する。その結果、光強度分布に応じて熔融領域に温度勾配が生じ、光強度がほぼ 0 の点に対応して最初に凝固する部分に結晶核が形成され、その結晶核から周囲に向かって結晶が横方向に成長（ラテラル成長）することにより大粒径の単結晶粒が生成される。

【0 0 0 7】

【発明が解決しようとする課題】

ところで、従来技術において一般に用いられる位相シフトマスクは、いわゆるライン型の位相シフトマスクであって、一方向に沿って交互に繰り返される 2 つの矩形状の領域で構成され、この 2 つの領域の間には π （180 度）の位相差が付与されている。この場合、2 つの領域間の境界線が位相シフト部を構成するため、位相シフト部に対応する線上位置において光強度がほぼ 0 で且つ周囲に向かって一次元的に光強度が増加するような逆ピークパターンの光強度分布が多結晶半導体膜または非晶質半導体膜上に形成されることになる。

【0 0 0 8】

このように、ライン型の位相シフトマスクを用いる従来技術では、位相シフト部に対応する線に沿って温度分布が最も低くなるとともに、位相シフト部に対応する線と直交する方向に沿って温度勾配が発生する。すなわち、位相シフト部に対応する線上で結晶核が発生し、その結晶核から位相シフト部に対応する線と直交する方向に沿って結晶化が進行する。その結果、結晶核は位相シフト部に対応する線上に発生するものの、線上のどこに結晶核が発生するかは不定であった。換言すると、従来技術では、結晶核の発生位置を制御することは不可能であり、ひいては結晶の形成領域を二次元的に制御することは不可能であった。

【0 0 0 9】

本発明は、前述の課題に鑑みてなされたものであり、結晶核の位置を制御することができ、ひいては結晶の形成領域を二次元的にほぼ制御することのできる結晶化装置および結晶化方法を提供することを目的とする。

【0 0 1 0】

【課題を解決するための手段】

前記課題を解決するために、本発明の第1形態では、位相シフトマスクを照明する照明系を備え、前記位相シフトマスクの位相シフト部に対応する領域において光強度の最も小さい逆ピークパターンの光強度分布を有する光を多結晶半導体膜または非晶質半導体膜に照射して結晶化半導体膜を生成する結晶化装置において、

前記位相シフトマスクは、ほぼ直線状の境界線の両側に形成されて第1の位相差を有する第1領域および第2領域と、前記境界線に沿って前記第1領域および前記第2領域のうちの少なくとも一方の領域に形成された所定形状の微小領域とを備え、

前記微小領域が形成された前記第1領域または前記第2領域と前記微小領域との間には第2の位相差が付与されていることを特徴とする結晶化装置を提供する。ここで、第2の位相差は、前記第1領域または前記第2領域を基準として、位相が進む向きを正と定義する。

【0011】

第1形態の好ましい態様によれば、前記微小領域は、前記第1領域および前記第2領域の双方の領域に亘って形成され、前記微小領域のうち前記第1領域内に形成された第1微小領域と前記第1領域との間および前記微小領域のうち前記第2領域内に形成された第2微小領域と前記第2領域との間には前記第2の位相差が付与されている。また、前記第1の位相差は約180度であることが好ましい。また、前記第1領域と前記第2領域とは直線状の境界線の両側に形成され、前記微小領域は前記境界線に関して対称な形状を有することが好ましい。

【0012】

また、第1形態の好ましい態様によれば、前記多結晶半導体膜または前記非晶質半導体膜と前記位相シフトマスクとは互いにほぼ平行に且つ近接して配置されている。この場合、前記第2の位相差は約60度であることが好ましい。また、前記位相シフトマスクへ入射する照明光の最大入射角度を θ とし、前記多結晶半導体膜または前記非晶質半導体膜と前記位相シフトマスクとの間隔を d とし、前記境界線と直交する方向に沿った前記第1微小領域または前記第2微小領域の寸法を a とすると、 $a \geq d \cdot \tan \theta$ の条件を満足することが好ましい。

【0013】

あるいは、第1形態の好ましい態様によれば、前記多結晶半導体膜または前記非晶質半導体膜と前記位相シフトマスクとの間の光路中に配置された結像光学系をさらに備え、前記多結晶半導体膜または前記非晶質半導体膜は、前記結像光学系を介して前記位相シフトマスクと光学的に共役な位置に設定され、前記結像光学系の像側開口数は、前記逆ピークパターンの光強度分布を発生させるための所要の値に設定されている。この場合、前記第2の位相差は約180度であることが好ましい。また、前記結像光学系の像側開口数をNAとし、光の波長を λ とし、前記境界線と直交する方向に沿った前記第1微小領域または前記第2微小領域の寸法をaとすると、 $a \leq \lambda / NA$ の条件を満足することが好ましい。

【0014】

本発明の第2形態では、位相シフトマスクを照明し、前記位相シフトマスクの位相シフト部に対応する領域において光強度の最も小さい逆ピークパターンの光強度分布を有する光を多結晶半導体膜または非晶質半導体膜に照射して結晶化半導体膜を生成する結晶化方法において、

ほぼ直線状の境界線の両側に形成されて第1の位相差を有する第1領域および第2領域と、前記境界線に沿って前記第1領域および前記第2領域のうちの少なくとも一方の領域に形成された所定形状の微小領域とを備え、前記微小領域が形成された前記第1領域または前記第2領域と前記微小領域との間に第2の位相差が付与された位相シフトマスクを用いることを特徴とする結晶化方法を提供する。

【0015】

第2形態の好ましい態様によれば、前記微小領域は、前記第1領域および前記第2領域の双方の領域に亘って形成され、前記微小領域のうち前記第1領域内に形成された第1微小領域と前記第1領域との間および前記微小領域のうち前記第2領域内に形成された第2微小領域と前記第2領域との間には前記第2の位相差が付与されている。また、前記多結晶半導体膜または前記非晶質半導体膜と前記位相シフトマスクとを互いにほぼ平行に且つ近接して配置することが好ましい。あるいは、前記多結晶半導体膜または前記非晶質半導体膜と前記位相シフトマ

クとの間の光路中に結像光学系を配置し、前記結像光学系の像側開口数を前記逆ピークパターンの光強度分布を発生させるための所要の値に設定し、前記結像光学系を介して前記位相シフトマスクと光学的に共役な位置に前記多結晶半導体膜または前記非晶質半導体膜を設定することが好ましい。

【0016】

本発明の第3形態では、ほぼ直線状の境界線の両側に形成されて第1の位相差を有する第1領域および第2領域と、前記境界線に沿って前記第1領域および前記第2領域のうちの少なくとも一方の領域に形成された所定形状の微小領域とを備え、前記微小領域が形成された前記第1領域または前記第2領域と前記微小領域との間に第2の位相差が付与されていることを特徴とする位相シフトマスクを提供する。この場合、前記微小領域は、前記第1領域および前記第2領域の双方の領域に亘って形成され、前記微小領域のうち前記第1領域内に形成された第1微小領域と前記第1領域との間および前記微小領域のうち前記第2領域内に形成された第2微小領域と前記第2領域との間には前記第2の位相差が付与されていることが好ましい。また、前記第1の位相差は約180度であることが好ましい。また、前記第2の位相差は約60度または約180度であることが好ましい。

【0017】

本発明の第4形態では、第1形態の結晶化装置または第2形態の結晶化方法を用いて結晶化された単結晶内にチャンネルが形成された薄膜トランジスタを有することを特徴とする電子デバイスを提供する。

【0018】

本発明の第5形態では、第1形態の結晶化装置または第2形態の結晶化方法において用いられる位相シフトマスクであって、

前記第1領域と前記第2領域と前記微小領域とからなる位相シフトパターンが薄膜トランジスタのチャンネルに対応する位置に形成されていることを特徴とする位相シフトマスクを提供する。

【0019】

本発明の第6形態では、第1形態の結晶化装置または第2形態の結晶化方法を用いて結晶粒が形成された結晶化半導体膜であって、

前記境界線と平行な方向に沿った前記結晶粒のサイズ W は、前記境界線と直交する方向に沿った前記結晶粒のサイズ L の $1/3$ 以上であることを特徴とする結晶化半導体膜を提供する。

【0 0 2 0】

第 6 形態の好ましい態様によれば、前記境界線と平行な方向に沿った前記結晶粒のサイズ W は $1 \mu\text{m}$ 以上である。また、結晶成長の開始点から前記結晶粒を見込む角度が全体として 60 度以上であることが好ましい。

【0 0 2 1】

本発明の第 6 形態では、第 1 形態の結晶化装置または第 2 形態の結晶化方法を用いて結晶粒が形成された結晶化半導体膜であって、

結晶成長の開始点から前記結晶粒を見込む角度が全体として 60 度以上であることを特徴とする結晶化半導体膜を提供する。

【0 0 2 2】

【発明の実施の形態】

本発明の実施形態を、添付図面に基づいて説明する。

図 1 は、本発明の第 1 実施形態にかかる結晶化装置の構成を概略的に示す図である。第 1 実施形態の結晶化装置は、位相シフトマスク 1 を照明する照明系 2 を備えている。照明系 2 は、たとえば 248 nm の波長を有する光を供給する KrF エキシマレーザ光源 2 a を備えている。なお、光源 2 a として、XeCl エキシマレーザ光源のような他の適当な光源を用いることもできる。光源 2 a から供給されたレーザ光は、ビームエキスパンダ 2 b を介して拡大された後、第 1 フライアイレンズ 2 c に入射する。

【0 0 2 3】

こうして、第 1 フライアイレンズ 2 c の後側焦点面には複数の光源が形成され、これらの複数の光源からの光束は第 1 コンデンサー光学系 2 d を介して、第 2 フライアイレンズ 2 e の入射面を重畳的に照明する。その結果、第 2 フライアイレンズ 2 e の後側焦点面には、第 1 フライアイレンズ 2 c の後側焦点面よりも多くの複数の光源が形成される。第 2 フライアイレンズ 2 e の後側焦点面に形成された複数の光源からの光束は、第 2 コンデンサー光学系 2 f を介して、位相シフ

トマスク 1 を重疊的に照明する。

【0024】

ここで、第 1 フライアイレンズ 2 c および第 1 コンデンサー光学系 2 d は第 1 ホモジナイザを構成し、この第 1 ホモジナイザにより位相シフトマスク 1 上での入射角度に関する均一化が図られる。また、第 2 フライアイレンズ 2 e および第 2 コンデンサー光学系 2 f は第 2 ホモジナイザを構成し、この第 2 ホモジナイザにより位相シフトマスク 1 上での面内位置に関する均一化が図られる。したがって、照明系 2 はほぼ均一な光強度分布を有する光を位相シフトマスク 1 に照射する。

【0025】

位相シフトマスク 1 を介して位相変調されたレーザ光は、位相シフトマスク 1 と平行に且つ近接して配置された被処理基板 3 に照射される。ここで、被処理基板 3 は、たとえば液晶ディスプレイ用板ガラスの上に化学気相成長法により下地膜および非晶質シリコン膜を形成することにより得られる。換言すれば、位相シフトマスク 1 は、非晶質半導体膜と対向するように設定されている。被処理基板 3 は、真空チャックや静電チャックなどにより基板ステージ 4 上において所定の位置に保持されている。

【0026】

図 2 は、第 1 実施形態における位相シフトマスクの基本単位部分の構成を概略的に示す図である。図 2 を参照すると、位相シフトマスク 1 の基本単位部分 10 は、直線状の境界線 10 a の両側に形成された矩形状の第 1 領域 11 および第 2 領域 12 と、第 1 領域 11 および第 2 領域 12 の双方の領域に亘って形成された円形状の微小領域 13 とから構成されている。なお、円形状の微小領域 13のうち、第 1 領域 11 内に形成された半円形状の領域は第 1 微小領域 13 a を構成し、第 2 領域 12 内に形成された半円形状の領域は第 2 微小領域 13 b を構成している。

【0027】

ここで、第 1 領域 11 の透過光と第 2 領域 12 の透過光との間には、第 1 の位相差として 180 度の位相差が付与されるように構成されている。また、第 1 領

域 1 1 の透過光と第 1 微小領域 1 3 a の透過光との間、および第 2 領域 1 2 の透過光と第 2 微小領域 1 3 b の透過光との間には、第 2 の位相差として 60 度の位相差が付与されるように構成されている。その結果、第 1 微小領域 1 3 a の透過光と第 2 微小領域 1 3 b の透過光との間にも、180 度の位相差が付与されることになる。

【0028】

具体的は、たとえば位相シフトマスク 1 が 248 nm の波長を有する光に対して 1.5 の屈折率を有する石英ガラスで形成されている場合、第 1 領域 1 1 と第 2 領域 1 2 との間には 248 nm の段差が付与され、第 1 領域 1 1 と第 1 微小領域 1 3 a との間には約 82.7 nm の段差が、第 1 微小領域 1 3 a が凹となる向きに付与され、第 2 領域 1 2 と第 2 微小領域 1 3 b との間には約 82.7 nm の段差が、第 2 微小領域 1 3 b が凹となる向きに付与され、第 1 微小領域 1 3 a と第 2 微小領域 1 3 b との間には 248 nm の段差が付与されている。そして、微小領域 1 3 が、後述するように、位相シフト部を構成することになる。位相シフトマスク 1 は、基本単位部分 10 を二次元的に配置することにより構成されている。

【0029】

以上のように、第 1 実施形態の位相シフトマスク 1 では、前述したライン型の位相シフトパターンと、いわゆるサーキュラー型の位相シフトパターンとを組み合わせた位相シフトパターンが、たとえば被処理基板 3 と対向する面に形成されている。以下、第 1 実施形態における位相シフトマスク 1 の作用の説明に先立って、ライン型の位相シフトマスクの作用およびサーキュラー型の位相シフトマスクの作用についてそれぞれ説明する。

【0030】

図 3 は、ライン型の位相シフトマスクの作用を説明する図である。第 1 実施形態においてライン型の位相シフトマスクを用いた場合、図 3 (a) に示すように、たとえば 180 度の位相差を有する 2 つの領域 3 1 a と 3 1 b との間の直線状の境界線 3 1 c が位相シフト部を構成することになる。したがって、被処理基板 3 上では、図 3 (b) に示すように、位相シフト部（境界線）に対応する線 3 2

上において光強度がほぼ 0 で且つ線 3 2 と直交する方向に周囲に向かって一次元的に光強度が増加するような逆ピークパターンの光強度分布が形成される。

【 0 0 3 1 】

この場合、図 3 (c) に示すように、位相シフト部に対応する線 3 2 に沿って温度分布が最も低くなるとともに、位相シフト部に対応する線 3 2 と直交する方向に沿って温度勾配 (図中矢印で示す) が発生する。すなわち、図 3 (d) に示すように、位相シフト部に対応する線 3 2 上で結晶核 3 3 が発生し、その結晶核 3 3 から位相シフト部に対応する線 3 2 と直交する方向に沿って結晶化が進行する。

【 0 0 3 2 】

なお、図 3 (d) において、曲線 3 4 は結晶の粒界を示しており、これらの結晶粒界 3 4 によって規定された領域に結晶が形成される。その結果、結晶核 3 3 は位相シフト部に対応する線 3 2 上に発生するものの、線 3 2 上のどこに結晶核 3 3 が発生するかは不定である。換言すると、第 1 実施形態においてライン型の位相シフトマスクを用いた場合、結晶核 3 3 の発生位置を制御することは不可能であり、ひいては結晶の形成領域を二次元的に制御することは不可能である。具体的には、結晶の形成領域が T F T のチャンネルを形成したい領域 3 5 を含むように制御することは不可能である。

【 0 0 3 3 】

図 4 は、サーキュラー型の位相シフトマスクの作用を説明する図である。第 1 実施形態においてサーキュラー型の位相シフトマスクを用いた場合、図 4 (a) に示すように、矩形状の領域 4 1 a に対して例えば位相が進む向きに 6 0 度 (または 1 8 0 度) の位相差を有する円形状の微小な領域 4 1 b が位相シフト部を構成することになる。したがって、被処理基板 3 上では、図 4 (b) に示すように、位相シフト部に対応する微小領域 4 2 において光強度がほぼ 0 で且つ微小領域 4 2 から周囲に向かって放射状に光強度が増加するような逆ピークパターンの光強度分布が形成される。

【 0 0 3 4 】

この場合、図 4 (c) に示すように、位相シフト部に対応する微小領域 4 2 に

において温度分布が最も低くなるとともに、位相シフト部に対応する微小領域 4 2 から周囲に向かって放射状に温度勾配（図中矢印で示す）が発生する。すなわち、図 4（d）に示すように、位相シフト部に対応する微小領域 4 2 またはその近傍において複数の結晶核 4 3（図 4（d）では図面の明瞭化のために 1 つの結晶核だけを図示している）が発生し、複数の結晶核 4 3 から周囲に向かって放射状に結晶化が進行する。

【0035】

このように、第 1 実施形態においてサーキュラー型の位相シフトマスクを用いた場合、位相シフト部に対応する微小領域 4 2 またはその近傍において複数の結晶核 4 3 が発生するので、結晶核 4 3 の発生位置を制御することは可能である。しかしながら、複数の結晶核 4 3 からの結晶の成長が放射状に且つ同時に進行するので、結晶粒界 4 4 の形成位置が不定であり、ひいては結晶の形成領域を二次元的に制御することは不可能である。具体的には、結晶の形成領域が T F T のチャンネルを形成したい領域 4 5 を含むように制御することは不可能である。

【0036】

なお、第 1 実施形態のように被処理基板と位相シフトマスクとを互いにほぼ平行に且つ近接して配置するデフォーカス法においてサーキュラー型の位相シフトマスクを用いる場合には、矩形状の領域 4 1 a と円形状の微小領域 4 1 b との間に約 60 度の位相差を付与することにより、位相シフト部に対応する微小領域 4 2 における光強度を最も小さくすることができる。一方、後述する第 2 実施形態にかかる投影 N A 法においてサーキュラー型の位相シフトマスクを用いる場合には、矩形状の領域 4 1 a と円形状の微小領域 4 1 b との間に約 180 度の位相差を付与することにより、位相シフト部に対応する微小領域 4 2 における光強度を最も小さくすることができる。

【0037】

なお、ライン型の位相シフトマスクおよびサーキュラー型の位相シフトマスクのさらに詳細な構成や作用については、「"Optimization of phase-modulated excimer-laser annealing method for growing highly-packed large-grains in Si thin-films", Applied Surface Science 154-155 (2000) 105-111」を参照す

ることができる。

【0 0 3 8】

図 5 は、第 1 実施形態の位相シフトマスクの基本的な作用を説明する図である。また、図 6 は、第 1 実施形態の位相シフトマスクの作用をさらに詳細に説明する図である。第 1 実施形態の位相シフトマスク 1 は、上述したように、ライン型の位相シフトパターンとサーキュラー型の位相シフトパターンとを組み合わせた位相シフトパターンを有する。このため、被処理基板 3 上では、図 5 (a) に示すように、位相シフトマスク 1 において位相シフト部を構成する円形状の微小領域 1 3 に対応する円形状領域 5 1 において光強度がほぼ 0 で最も小さくなる。

【0 0 3 9】

また、位相シフトマスク 1 の境界線 1 0 a に対応する直線状領域 5 2 が、円形状領域 5 1 に次いで光強度の小さい領域を構成する。一方、円形状領域 5 1 および直線状領域 5 2 以外の一般領域 5 3 では、光強度の等しい等高線 5 4 により模式的に示すように、直線状領域 5 2 と直交する方向に沿って周辺に向かって光強度が増大する。以下、直線状領域 5 2 よりも円形状領域 5 1 において光強度が小さくなる点、および直線状領域 5 2 と直交する方向に沿って周辺に向かって光強度が増大する点について、図 6 を参照して説明する。

【0 0 4 0】

図 6 を参照すると、位相シフトマスク 1 へ入射する照明光が平行光束である場合（照明光の開口数 $NA_1 = 0$ である場合）、円形状領域 5 1 を横断して直線状領域 5 2 と直交する方向に沿った A-A 断面では、円形状領域 5 1 において光強度がほぼ 0 で且つ一般領域 5 3 において光強度がほぼ一定の光強度分布が得られる。一方、直線状領域 5 2 を横断して直線状領域 5 2 と直交する方向に沿った B-B 断面では、直線状領域 5 2 において光強度がほぼ 0 で且つ一般領域 5 3 に向かって急激に光強度が増大して一定値に達するような光強度分布が得られる。

【0 0 4 1】

これに対し、位相シフトマスク 1 へ入射する照明光の開口数 NA_1 が 0 よりも実質的に大きい所定値であり、照明光の最大入射角度が θ である場合、被処理基板 3 と位相シフトマスク 1 との間隔を d とすると、A-A 断面および B-B 断面

における光強度分布は、ボケ量 $d \cdot \tan \theta$ の影響を受けることになる。その結果、A-A断面では、円形状領域 5 1 の中心において光強度がほぼ 0 で且つ一般領域 5 3 に向かって急激に光強度が増大してほぼ一定値に達するような逆ピークパターンの光強度分布が得られる。

【 0 0 4 2 】

一方、B-B断面では、直線状領域 5 2 を中心としてボケ量 $d \cdot \tan \theta$ に対応する幅の広い領域において光強度が 0 よりもある程度大きいほぼ一定値であり且つその他の周辺領域において光強度がさらに大きいほぼ一定値であるような U 字状の光強度分布が得られる。すなわち、一般に照明光の開口数 $NA 1$ を大きくすると（照明光の最大入射角度 θ を大きくすると）、光強度分布が影響を受けるボケ量 $d \cdot \tan \theta$ が大きくなるので、直線状領域 5 2 における光強度は増大する。

【 0 0 4 3 】

しかしながら、ボケ量 $d \cdot \tan \theta$ の大きさが所定の範囲内にあれば、すなわち照明光の開口数 $NA 1$ が所定の範囲内にあれば、円形状領域 5 1 における光強度はほぼ 0 の値を維持する。このように、第 1 実施形態では、所定の開口数 $NA 1$ を有する照明光を位相シフトマスク 1 に照射すると、被処理基板 3 上では、円形状領域 5 1 において光強度がほぼ 0 で、直線状領域 5 2 において円形状領域 5 1 よりも光強度が大きく、且つ円形状領域 5 1 から直線状領域 5 2 と直交する方向に沿って周辺に向かって光強度が急激に増大する逆ピークパターンの光強度分布が得られる。

【 0 0 4 4 】

なお、逆ピークパターンの幅寸法は、位相シフトマスク 1 と被処理基板 3 との距離（すなわちデフォーカス量）の $1/2$ 乗に比例して変化する。この場合、図 5 (b) に示すように、円形状領域 5 1 において温度分布が最も低くなるとともに、直線状領域 5 2 と直交する方向に沿って温度勾配（図中矢印で示す）が発生する。すなわち、図 5 (c) に示すように、位相シフト部に対応する円形状領域 5 1 またはその近傍において結晶核 5 5 が発生し、その結晶核 5 5 から直線状領域 5 2 と直交する方向に沿って結晶化が進行する。

【 0 0 4 5 】

その結果、結晶核 55 の発生位置が円形状領域 51 またはその近傍に制限されるとともに、結晶核 55 からの結晶の成長方向が直線状領域 52 と直交する方向に一次的に制限されるので、結晶粒界 56 の形成位置がほぼ制御される。換言すれば、第 1 実施形態では、結晶核 55 の位置を制御することができ、ひいては結晶粒界 56 の形成位置をほぼ制御することにより、結晶粒界 56 に規定される結晶 57 の形成領域を二次元的にほぼ制御することができる。具体的には、結晶 57 の形成領域が T F T のチャンネルを形成したい領域 58 を含むように制御することができる。

【0046】

第 1 実施形態では、位相シフト部に対応する円形状領域 51 を横断する A-A 断面に沿った光強度分布を、特定の数値例にしたがうシミュレーションにより実際に求めている。この数値例において、微小領域 13 は半径 $1\ \mu\text{m}$ の円に内接する正八角形状であり、被処理基板 3 と位相シフトマスク 1 との間隔 d は $8\ \mu\text{m}$ であり、光の波長 λ は $248\ \text{nm}$ である。そして、照明光の開口数 $\text{NA}1 = 0$ の場合、および照明光の開口数 $\text{NA}1 = 0.1$ の場合を想定している。

【0047】

図 7 は、数値例において照明光の開口数 $\text{NA}1 = 0$ の場合および開口数 $\text{NA}1 = 0.1$ の場合に、位相シフト部に対応する円形状領域を横断する A-A 断面に沿って得られた光強度分布を示す図である。図 7 (a) および (b) を参照すると、照明光の開口数 $\text{NA}1 = 0$ の場合においても $\text{NA}1 = 0.1$ の場合においても、図 6 において模式的に示す A-A 断面に沿った光強度分布にほぼ対応する形態の光強度分布が得られることをシミュレーション結果により確認することができる。

【0048】

こうして、第 1 実施形態では、結晶核 55 からの十分なラテラル成長を実現して、大粒径の結晶化半導体膜を生成することができる。特に、生成された大粒径の結晶では、ラテラル成長の方向に高い電子移動度を有するので、ラテラル成長の方向にトランジスタのソースドレインを配置することにより、良好な特性のトランジスタを製造することができる。

【 0 0 4 9 】

なお、第 1 実施形態では、次の条件式 (1) を満足することが望ましい。

$$a \geq d \cdot \tan \theta \quad (1)$$

ここで、 θ は位相シフトマスク 1 へ入射する照明光の最大入射角度であり、 d は被処理基板 3 (多結晶半導体膜または非晶質半導体膜) と位相シフトマスク 1 との間隔 (ギャップ) である。また、 a は、境界線 1 0 a と直交する方向に沿った第 1 微小領域 1 3 a または第 2 微小領域 1 3 b の寸法であり、第 1 実施形態の場合は微小領域 1 3 の半径に他ならない。

【 0 0 5 0 】

条件式 (1) の右辺は、前述したように、位相シフトマスク 1 へ入射する照明光が平行光束でないことにより発生するボケ量を表わしている。したがって、条件式 (1) を満足することにより、位相シフト部としての円形状の微小領域 1 3 に対応する被処理基板 3 上の領域 5 1 において光強度がほぼ 0 の部分を確保することができる。換言すれば、条件式 (1) を満たさない場合、被処理基板 3 上の領域 5 1 において最も低い光強度の値が 0 よりも実質的に大きくなり、所望の逆ピークパターンの光強度分布を得ることができなくなる。

【 0 0 5 1 】

図 8 は、本発明の第 2 実施形態にかかる結晶化装置の構成を概略的に示す図である。また、図 9 は、第 2 実施形態における位相シフトマスクの基本単位部分の構成を概略的に示す図である。第 2 実施形態は第 1 実施形態と類似の構成を有するが、第 2 実施形態では結像光学系 5 を介して位相シフトマスク 1 と被処理基板 3 とが光学的に共役に配置されている点が第 1 実施形態と基本的に相違している。以下、第 1 実施形態との相違点に着目して、第 2 実施形態を説明する。なお、図 8 では、図面の明瞭化のために、照明系 2 の内部構成の図示を省略している。

【 0 0 5 2 】

第 2 実施形態では、位相シフトマスク 1 と被処理基板 3 との間に結像光学系 5 が配置され、結像光学系 5 を介して位相シフトマスク 1 と被処理基板 3 とが光学的に共役に配置されている。換言すれば、被処理基板 3 は、位相シフトマスク 1 と光学的に共役な面 (結像光学系 5 の像面) に設定されている。結像光学系 5 は

、その瞳面に配置された開口絞り 5 a を備えている。開口絞り 5 a は、開口部（光透過部）の大きさの異なる複数の開口絞りを有し、これらの複数の開口絞りは光路に対して交換可能に構成されている。

【0053】

あるいは、開口絞り 5 a は、開口部の大きさを連続的に変化させることのできる虹彩絞りを有する。いずれにしても、開口絞り 5 a の開口部の大きさ（ひいては結像光学系 5 の像側開口数 NA）は、被処理基板 3 の半導体膜上において所要の逆ピークパターンの光強度分布を発生させるように設定されている。なお、結像光学系 5 は、屈折型の光学系であってもよいし、反射型の光学系であってもよいし、屈折反射型の光学系であってもよい。

【0054】

図 9 を参照すると、第 2 実施形態の位相シフトマスク 1 は、第 1 実施形態の位相シフトマスク 1 と基本的に同じ構成を有する。すなわち、第 1 領域 1 1 と第 2 領域 1 2 と微小領域 1 3 とからなり、第 1 領域 1 1 の透過光と第 2 領域 1 2 の透過光との間に第 1 の位相差として 180 度の位相差を付与している。しかしながら、第 2 実施形態では、第 1 実施形態とは異なり、第 1 領域 1 1 の透過光と第 1 微小領域 1 3 a の透過光との間、および第 2 領域 1 2 の透過光と第 2 微小領域 1 3 b の透過光との間に、第 2 の位相差として 180 度の位相差を付与している。

【0055】

具体的は、たとえば位相シフトマスク 1 が 248 nm の波長を有する光に対して 1.5 の屈折率を有する石英ガラスで形成されている場合、第 1 領域 1 1 と第 2 領域 1 2 との間には 248 nm の段差が付与され、第 1 領域 1 1 と第 1 微小領域 1 3 a との間にも 248 nm の段差が付与され、第 2 領域 1 2 と第 2 微小領域 1 3 b との間にも 248 nm の段差が付与され、第 1 微小領域 1 3 a と第 2 微小領域 1 3 b との間にも 248 nm の段差が付与されている。なお、微小領域 1 3 が位相シフト部を構成する点および位相シフトマスク 1 が基本単位部分 10 を二次元的に配置することにより構成されている点は第 1 実施形態と同様である。

【0056】

第 2 実施形態において、位相シフトマスク 1 の作用により被処理基板 3 の半導

体膜上に形成される逆ピークパターンの幅寸法は、結像光学系 5 の解像度 R と同程度になる。結像光学系 5 の解像度 R は、使用光の波長を λ とし、結像光学系 5 の像側開口数を NA とすると、 $R = k \lambda / NA$ で規定される。ここで、定数 k は、位相シフトマスク 1 を照明する照明系 2 の仕様や、光源 1 から供給される光束のコヒーレンスの程度、解像度の定義にもよるが、ほぼ 1 に近い値である。このように、第 2 実施形態では、結像光学系 5 の像側開口数 NA を小さくして、結像光学系 5 の解像を低下させると、逆ピークパターンの幅寸法が大きくなる。

【0057】

第 2 実施形態においても第 1 実施形態と同様に、結晶核の発生位置が位相シフトマスク 1 の位相シフト部に対応する領域に制限されるとともに、結晶核からの結晶の成長方向が一次的に制限されるので、結晶粒界の形成位置がほぼ制御される。すなわち、結晶核の位置を制御することができ、ひいては結晶粒界の形成位置をほぼ制御することにより、結晶粒界に規定される結晶の形成領域を二次元的にほぼ制御することができる。

【0058】

なお、第 1 実施形態では被処理基板 3 におけるアブレーションに起因して位相シフトマスク 1 が汚染され、ひいては良好な結晶化が妨げられることがある。これに対して、第 2 実施形態では、位相シフトマスク 1 と被処理基板 3 との間に結像光学系 5 が介在し且つ被処理基板 3 と結像光学系 5 との間隔も比較的大きく確保されているので、被処理基板 3 におけるアブレーションの影響を受けることなく良好な結晶化を実現することができる。

【0059】

また、第 1 実施形態では、位相シフトマスク 1 と被処理基板 3 との間に設定すべき間隔が非常に小さい（たとえば数 μm ～数百 μm ）ので、位相シフトマスク 1 と被処理基板 3 との間の狭い光路中に位置検出のための検出光を導入することが困難であり、ひいては位相シフトマスク 1 と被処理基板 3 との間隔を調整することが困難である。これに対して、第 2 実施形態では、被処理基板 3 と結像光学系 5 との間隔が比較的大きく確保されているので、その間の光路中に位置検出のための検出光を導入して、被処理基板 3 と結像光学系 5 との位置関係を調整する

ことが容易である。

【0060】

なお、第2実施形態では、次の条件式(2)を満足することが望ましい。

$$a \leq \lambda / NA \quad (2)$$

ここで、NAは結像光学系5の像側開口数であり、 λ は光の波長であり、aは境界線10aと直交する方向に沿った第1微小領域13aまたは第2微小領域13bの寸法である。

【0061】

条件式(2)の右辺は、上述したように、結像光学系5の解像度を表わしている。したがって、条件式(2)を満足すると、第1微小領域13aまたは第2微小領域13bの寸法が解像度以下になり、位相シフト部としての円形状の微小領域13に対応する被処理基板3上の領域51において光強度がほぼ0の領域の形状が中空のリング状(円環状)ではなく中実の円形状になる。換言すれば、条件式(2)を満たさない場合、被処理基板3上の領域51において光強度がほぼ0の領域の形状がリング状になり、所望の逆ピークパターンの光強度分布を得ることができなくなる。

【0062】

具体的には、結像光学系5の像側開口数NAが大きくなりすぎると、2つの逆ピークパターンが並列的に形成され、所望の逆ピークパターンの光強度分布を得ることができなくなる。一方、結像光学系5の像側開口数NAが小さくなりすぎると、逆ピークパターンの光強度分布において最も低い光強度の値が0よりも実質的に大きくなり、所望の逆ピークパターンの光強度分布を得ることができなくなる。

【0063】

なお、上述の各実施形態では、位相シフトマスク1において第1領域11の透過光と第2領域12の透過光との間に第1の位相差として180度の位相差を付与している。この場合、位相シフトマスク1の境界線10aに対応する直線状領域52における光強度を最も低くすることができ、直線状領域52に関して対称的な光強度分布を得ることができる。しかしながら、たとえば意図的に一方向の

みに結晶化を行いたい場合には、第1領域11の透過光と第2領域12の透過光との間に180度とは実質的に異なる位相差を付与することもできる。

【0064】

また、上述の各実施形態では、位相シフトマスク1において第1領域11および第2領域12の双方の領域に亘る微小領域13が、境界線10aに関して対称的に且つ円形状に形成されている。しかしながら、シミュレーションにおいて正八角形状の微小領域を用いているように、微小領域の形状は任意である。また、たとえば意図的に一方向のみに結晶化を行いたい場合には、結晶化を行う方向のみに境界線10aから突出した形状を設定することもできる。すなわち、一般的に、位相シフトを構成する微小領域は、境界線10aに沿って第1領域11および第2領域12のうちの少なくとも一方の領域に形成されていればよい。

【0065】

また、上述したように、第1領域11と第1微小領域13aとの間および第2領域12と第2微小領域13bの間に付与される第2の位相差は、第1実施形態のデフォーカス法では約60度であることが望ましく、第2実施形態の投影NA法では約180度であることが望ましい。このように第2の位相差を設定することにより、位相シフト部としての微小領域13に対応する被処理基板3上の領域51における光強度をほぼ0に抑えることができる。

【0066】

図10は、各実施形態において形成される結晶粒とチャネルとの位置関係を従来技術と比較して示す図である。図10(b)を参照すると、ライン型の位相シフトマスクを用いる従来技術では、ランダムに発生した各結晶核から成長する際に結晶粒同士がぶつかり合うため、ライン型の位相シフトマスクの位相シフト部(境界線)に対応する線32と直交する方向に沿って非常に細長い結晶粒しか形成されない。したがって、従来技術では、薄膜トランジスタのチャネル61を複数の結晶粒で分割することになる。

【0067】

これに対し、各実施形態では、位相シフトマスク1において位相シフト部を構成する円形状の微小領域13に対応する円形状領域51またはその近傍に結晶核

が間隔を隔てて発生するので、各結晶核から成長する際に結晶粒同士がぶつかり合うことがない。したがって、各実施形態の結晶化装置および結晶化方法を用いて結晶化された結晶粒 57 では、図 10 (a) に示すように、位相シフトマスク 1 の境界線 10 a に対応する直線状領域 52 に平行な方向に沿った結晶粒 57 のサイズ W は、直線状領域 52 と直交する方向に沿った結晶粒 57 のサイズ L に比して比較的大きくなる。

【0068】

その結果、各実施形態の結晶化装置および結晶化方法を用いて結晶化された単結晶（結晶粒）57 内に、薄膜トランジスタのためのチャンネル 61 を形成することができる。この場合、各実施形態の結晶化装置および結晶化方法において用いられる位相シフトマスク 1 では、第 1 領域 11 と第 2 領域 12 と微小領域 13 とからなる位相シフトパターンが薄膜トランジスタのチャンネル 61 に対応する位置に形成されている必要がある。

【0069】

また、位相シフトマスク 1 の境界線 10 a に対応する直線状領域 52 と直交する方向に沿って、チャンネル 61 の両側にソース 62 およびドレイン 63 が形成される。なお、結晶粒 57 のサイズ W はサイズ L の $1/3$ 以上であること、および結晶粒 57 のサイズ W は $1\ \mu\text{m}$ 以上であることが望ましい。この構成により、単結晶 57 内にチャンネル 61 を確実に形成することが可能になる。

【0070】

図 11 は、各実施形態において形成される結晶粒の結晶成長の開始点から見込む角度を従来技術と比較して示す図である。図 11 (b) を参照すると、ライン型の位相シフトマスクを用いる従来技術では、光強度の等しい等高線 36 で示すように光強度分布の勾配（ひいては温度分布の勾配）が直線的であるため、結晶粒 35 は一方向にしか成長せず、結晶成長の開始点から結晶粒 35 を見込む角度 $\phi 2$ は非常に小さくなる。

【0071】

これに対し、各実施形態では、光強度の等しい等高線 54 で示すように光強度分布の勾配（ひいては温度分布の勾配）が円形状領域 51 の周辺で湾曲した形態

になるため、結晶粒 57 は二次元的に成長し、結晶成長の開始点から結晶粒 57 を見込む角度 ϕ 1 は従来技術に比して非常に大きくなる。その結果、単結晶（結晶粒）57 内にチャネル 61（図 11 では不図示）を形成し易いだけでなく、結晶成長の開始点とチャネル 61 との距離を小さく抑えて微細化を図ることができる。この目的のために、結晶成長の開始点から結晶粒 57 を見込む角度 ϕ 1 が全体として 60 度以上であることが望ましい。

【0072】

なお、上述の各実施形態において、光強度分布は設計の段階でも計算できるが、実際の被処理面（被露光面）での光強度分布を観察して確認しておくことが望ましい。そのためには、被処理面を光学系で拡大し、CCD などの撮像素子で入力すれば良い。使用光が紫外線の場合は、光学系が制約を受けるため、被処理面に蛍光板を設けて可視光に変換しても良い。

【0073】

図 12 は、各実施形態の結晶化装置を用いて電子デバイスを作製する工程を示す工程断面図である。図 12（a）に示すように、絶縁基板 80（例えば、アルカリガラス、石英ガラス、プラスチック、ポリイミドなど）の上に、下地膜 81（例えば、膜厚 50 nm の SiN および膜厚 100 nm の SiO₂ 積層膜など）および非晶質半導体膜 82（例えば、膜厚 50 nm ～ 200 nm 程度の Si, Ge, SiGe など）を、化学気相成長法やスパッタ法などを用いて成膜することにより、被処理基板 3 を準備する。そして、各実施形態の結晶化装置を用いて、非晶質半導体膜 82 の表面の一部もしくは全部に、レーザ光 83（例えば、KrF エキシマレーザ光や XeCl エキシマレーザ光など）を照射する。

【0074】

こうして、図 12（b）に示すように、大粒径の結晶を有する多結晶半導体膜または単結晶化半導体膜 84 が生成される。次に、図 12（c）に示すように、フォトリソグラフィ技術を用いて多結晶半導体膜または単結晶化半導体膜 84 を島状の半導体膜 85 に加工し、ゲート絶縁膜 86 として膜厚 20 nm ～ 100 nm の SiO₂ 膜を化学気相成長法やスパッタ法などを用いて成膜する。さらに、図 12（d）に示すように、ゲート電極 87（例えば、シリサイドや MoW など

）を形成し、ゲート電極 87 をマスクにして不純物イオン 88（Nチャネルトランジスタの場合にはリン、Pチャネルトランジスタの場合にはホウ素）を注入する。その後、窒素雰囲気中でアニール処理（例えば、450°Cで1時間）を行い、不純物を活性化する。

【0075】

次に、図12（e）に示すように、層間絶縁膜 89 を成膜してコンタクト穴をあけ、チャンネル 90 でつながるソース 91 およびドレイン 92 に接続するソース電極 93 およびドレイン電極 94 を形成する。このとき、図12（a）および（b）に示す工程において生成された多結晶半導体膜または単結晶化半導体膜 84 の大粒径結晶の位置に合わせて、チャンネル 90 を形成する。以上の工程により、多結晶トランジスタまたは単結晶化半導体トランジスタを形成することができる。こうして製造された多結晶トランジスタまたは単結晶化トランジスタは、液晶ディスプレイやEL（エレクトロルミネッセンス）ディスプレイなどの駆動回路や、メモリ（SRAMやDRAM）やCPUなどの集積回路などに適用可能である。

【0076】

【発明の効果】

以上説明したように、本発明では、結晶核の発生位置が位相シフトマスクの位相シフト部に対応する領域に制限されるとともに、結晶核からの結晶の成長方向が一次元的に制限されるので、結晶粒界の形成位置がほぼ制御される。換言すれば、本発明では、結晶核の位置を制御することができ、ひいては結晶粒界の形成位置をほぼ制御することにより、結晶粒界に規定される結晶の形成領域を二次元的にほぼ制御することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】

本発明の第1実施形態にかかる結晶化装置の構成を概略的に示す図である。

【図2】

第1実施形態における位相シフトマスクの基本単位部分の構成を概略的に示す図である。

【図 3】

ライン型の位相シフトマスクの作用を説明する図である。

【図 4】

サーキュラー型の位相シフトマスクの作用を説明する図である。

【図 5】

第 1 実施形態の位相シフトマスクの基本的な作用を説明する図である。

【図 6】

第 1 実施形態の位相シフトマスクの作用をさらに詳細に説明する図である。

【図 7】

数値例において照明光の開口数 $NA1 = 0$ の場合および開口数 $NA1 = 0.1$ の場合に、位相シフト部に対応する円形状領域を横断する A-A 断面に沿って得られた光強度分布を示す図である。

【図 8】

本発明の第 2 実施形態にかかる結晶化装置の構成を概略的に示す図である。

【図 9】

第 2 実施形態における位相シフトマスクの基本単位部分の構成を概略的に示す図である。

【図 10】

各実施形態において形成される結晶粒とチャネルとの位置関係を従来技術と比較して示す図である。

【図 11】

図 11 は、各実施形態において形成される結晶粒の結晶成長の開始点から見込む角度を従来技術と比較して示す図である。

【図 12】

各実施形態の結晶化装置を用いて電子デバイスを作製する工程を示す工程断面図である。

【符号の説明】

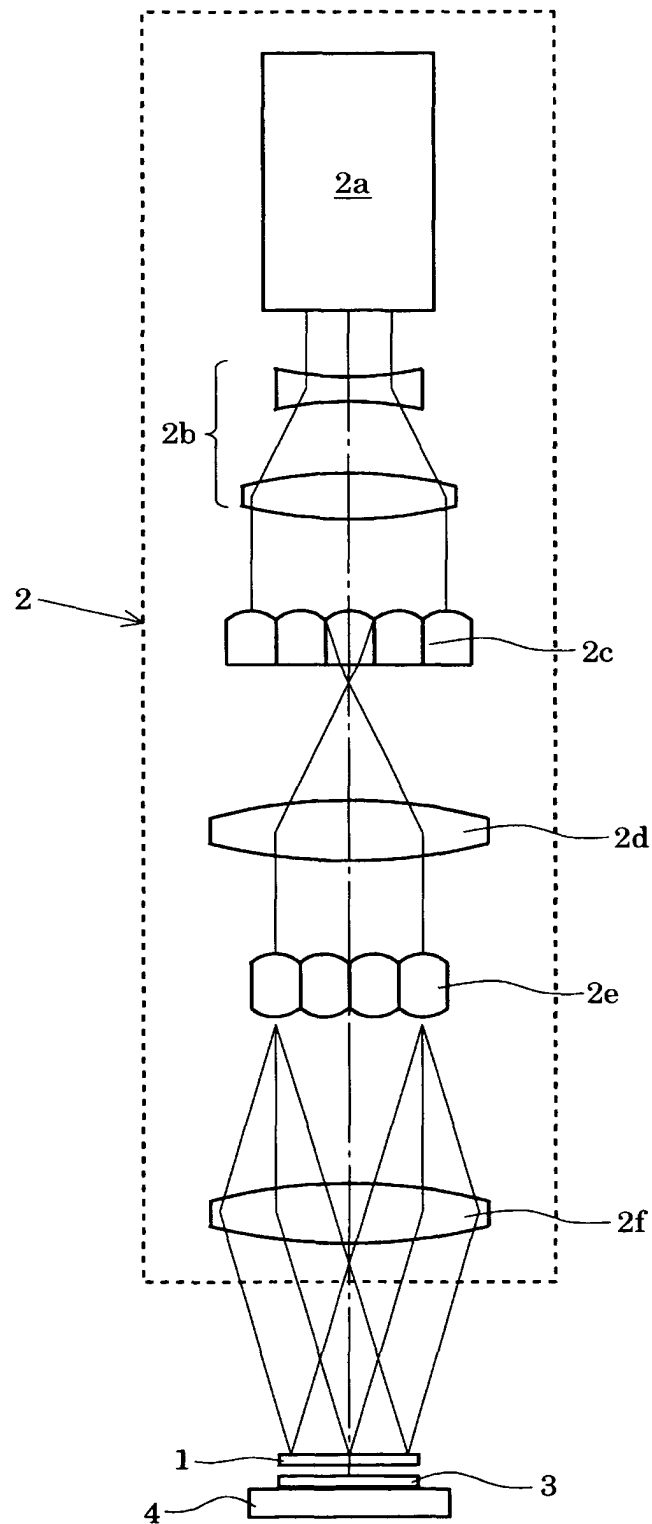
- 1 位相シフトマスク
- 2 照明系

- 2 a K r F エキシマレーザ光源
- 2 b ビームエキスパンダ
- 2 c , 2 e フライアイレンズ
- 2 d , 2 f コンデンサー光学系
- 3 被処理基板
- 4 基板ステージ
- 5 結像光学系
- 1 0 位相シフトマスクの基本単位部分

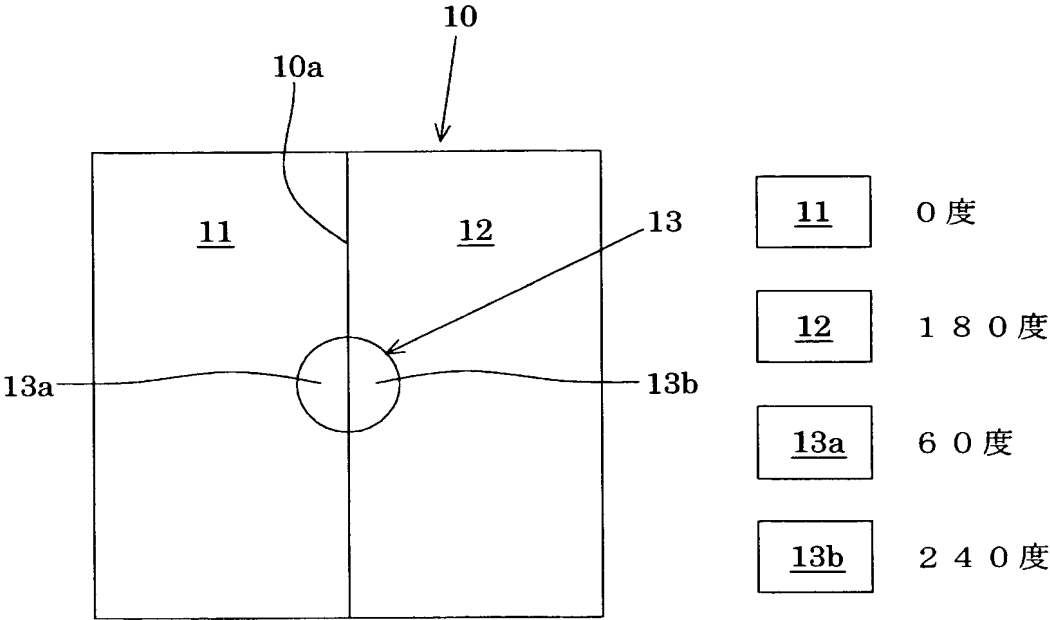
【書類名】

図面

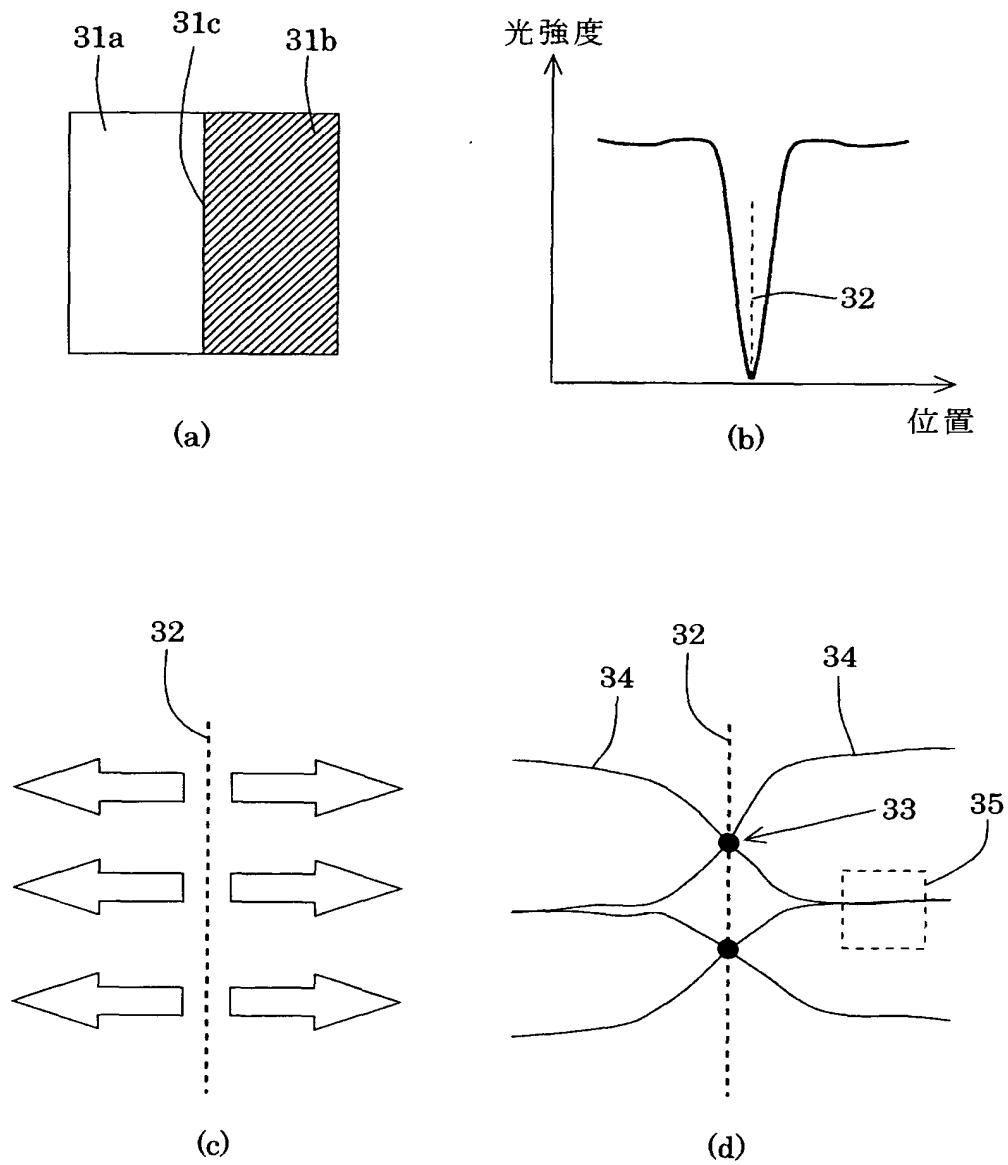
【図 1】



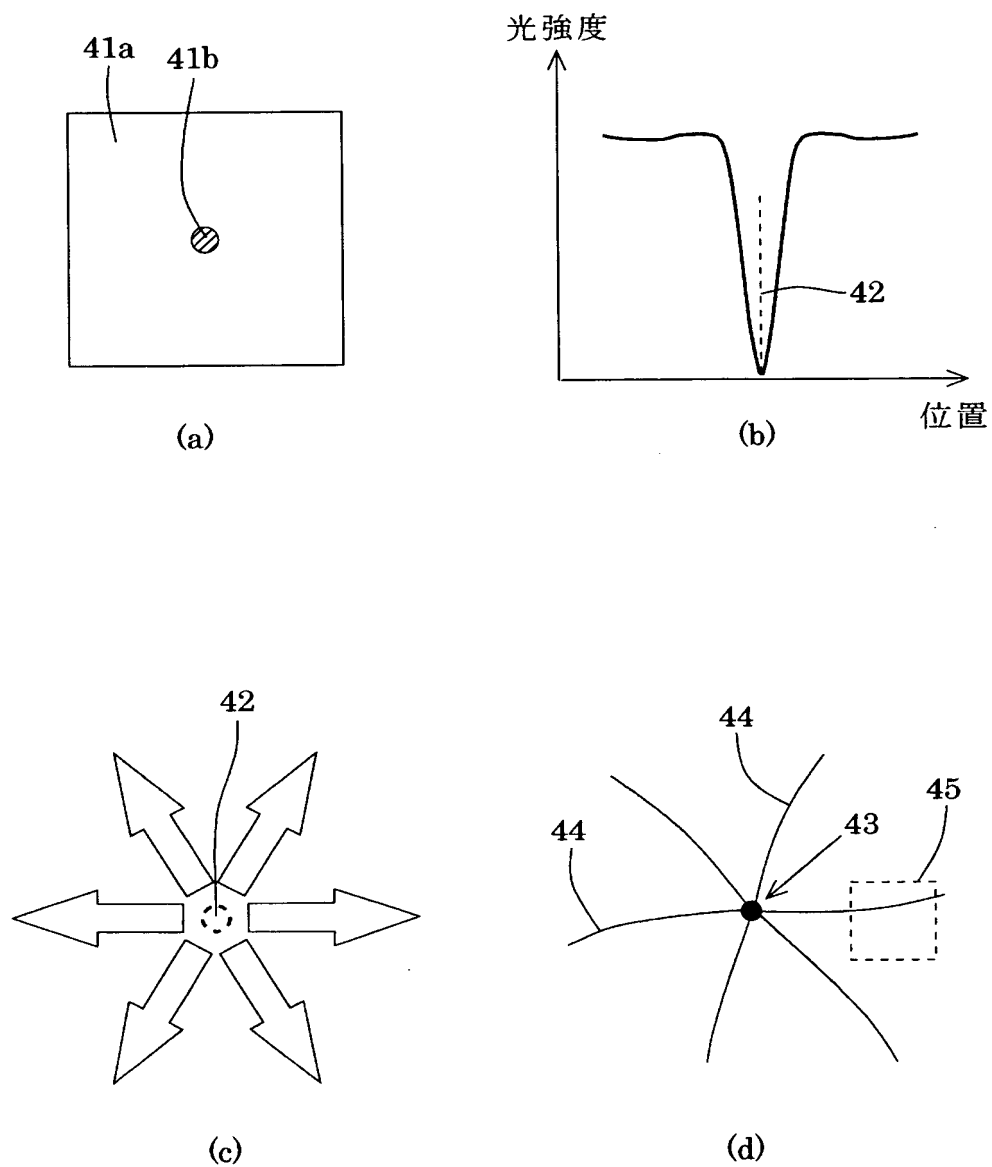
【図 2】



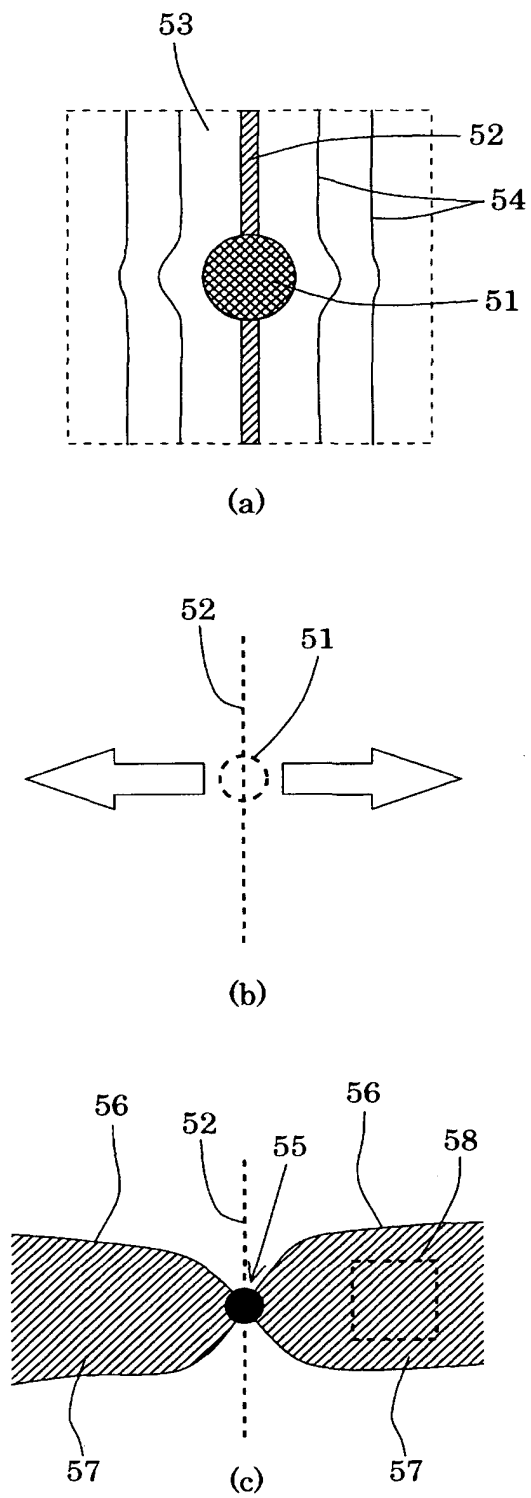
【図 3】



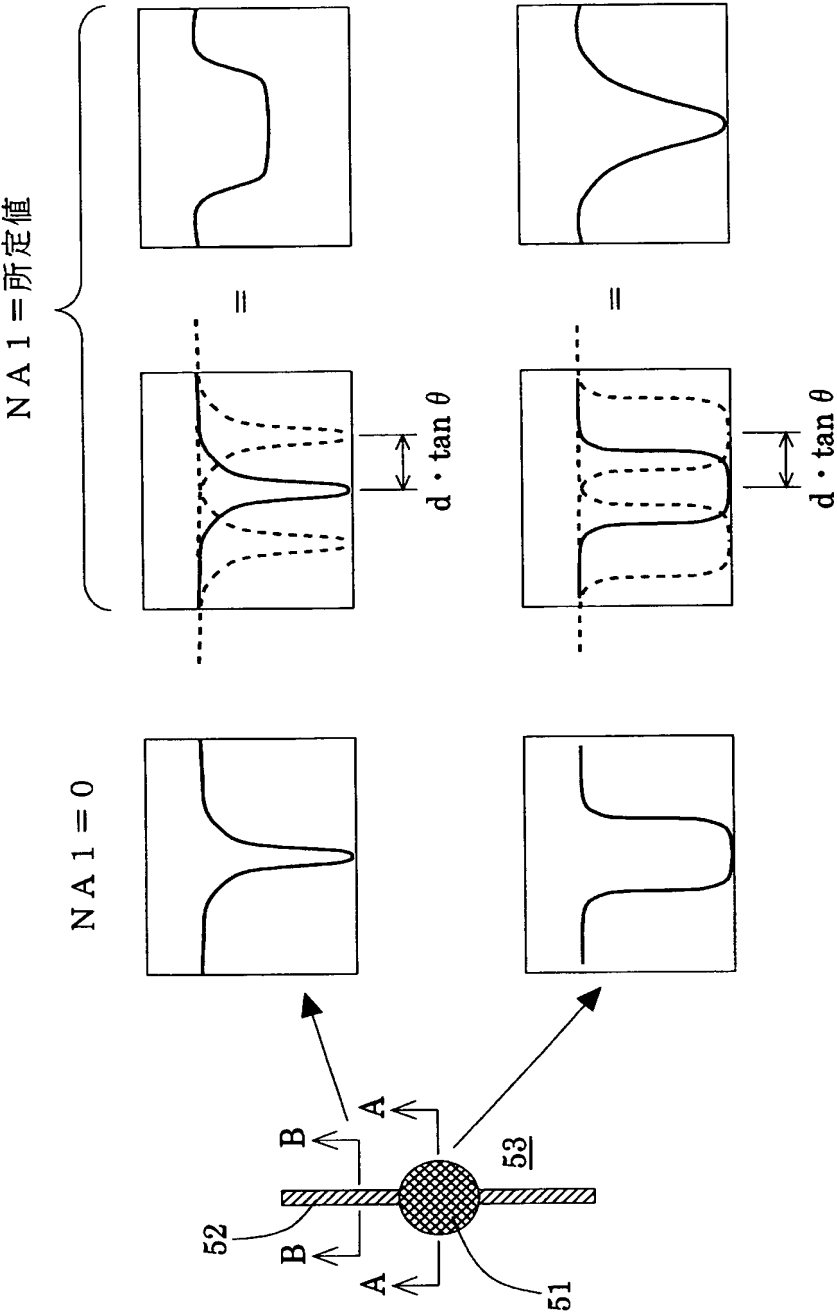
【図 4】



【図 5】

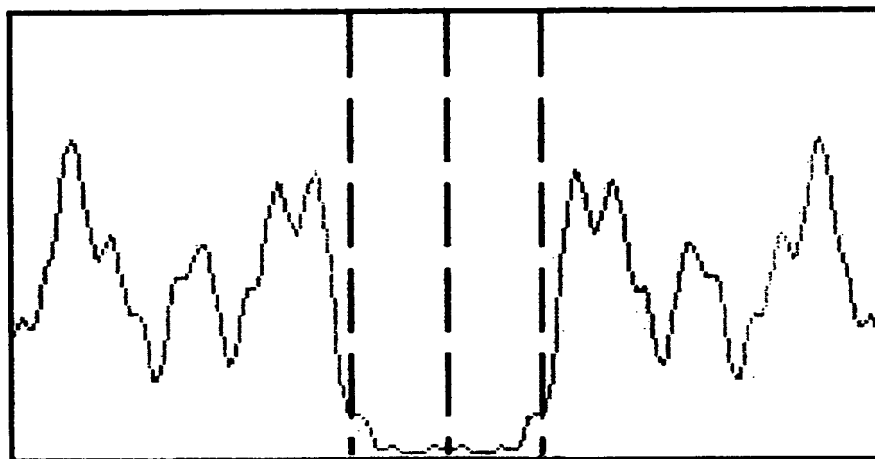


【図 6】



【図 7】

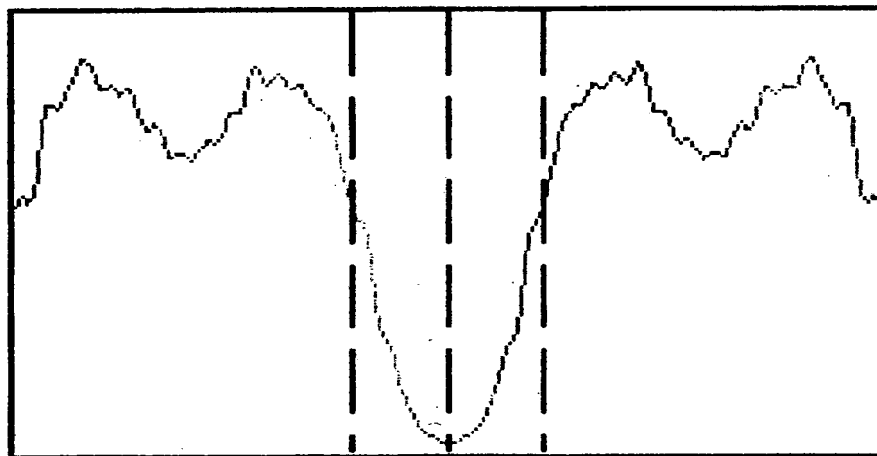
光強度



位置

(a)

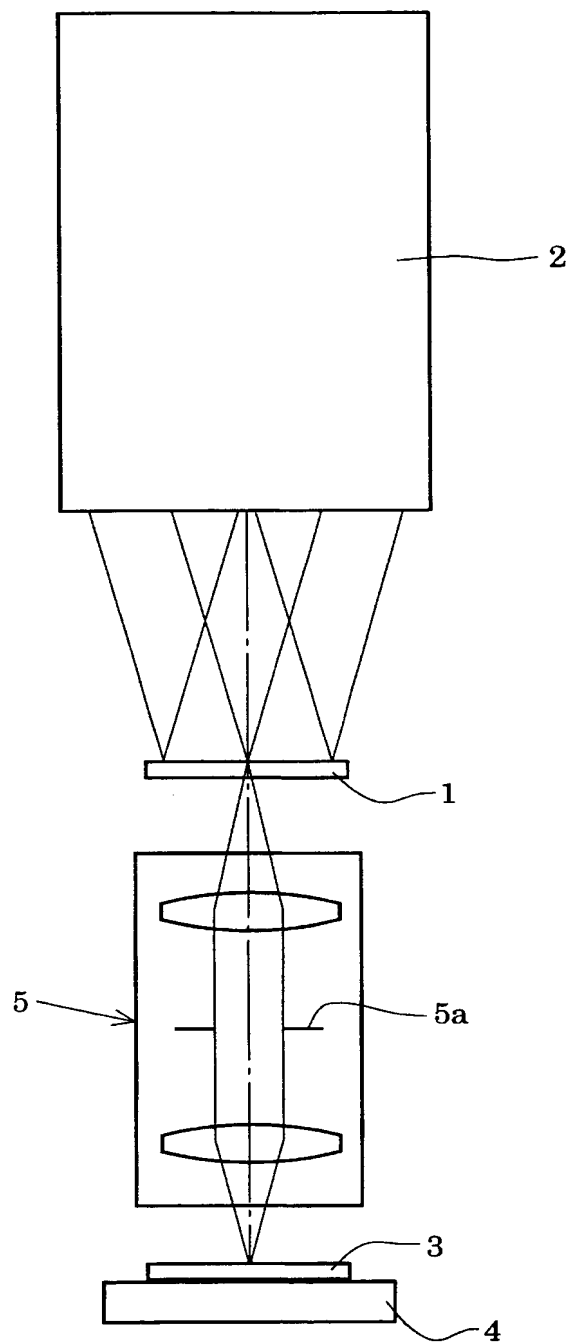
光強度



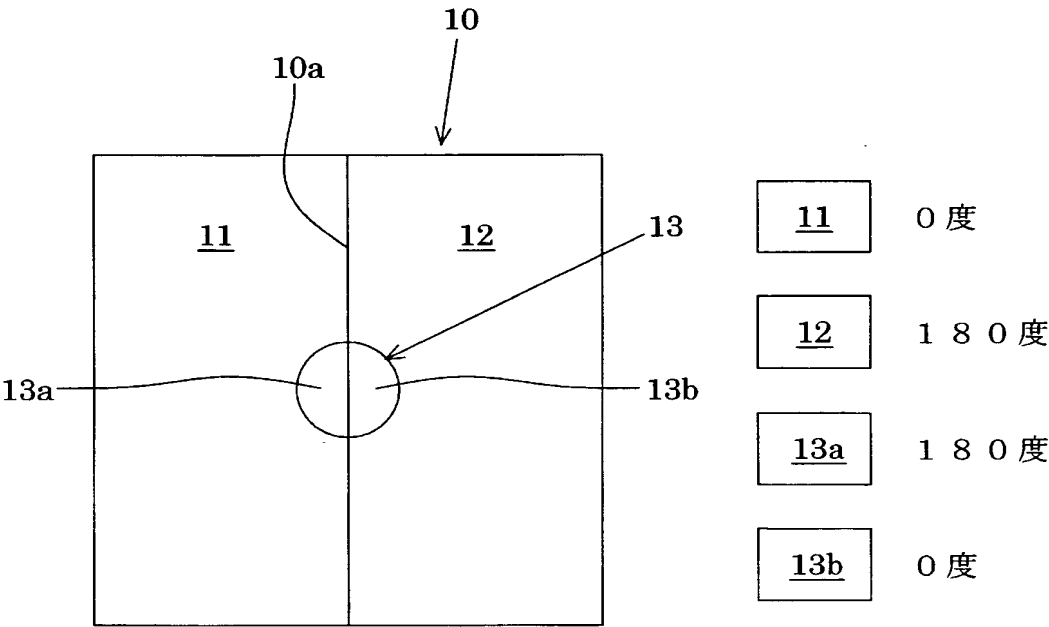
位置

(b)

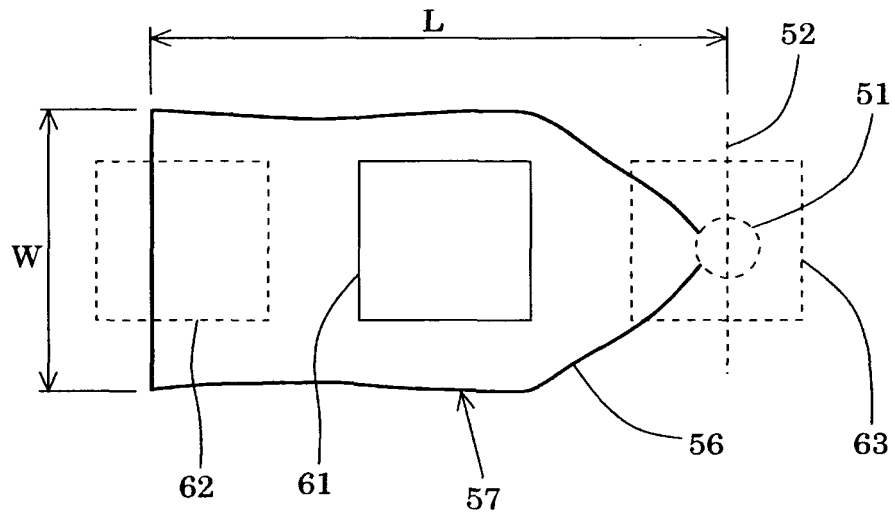
【図 8】



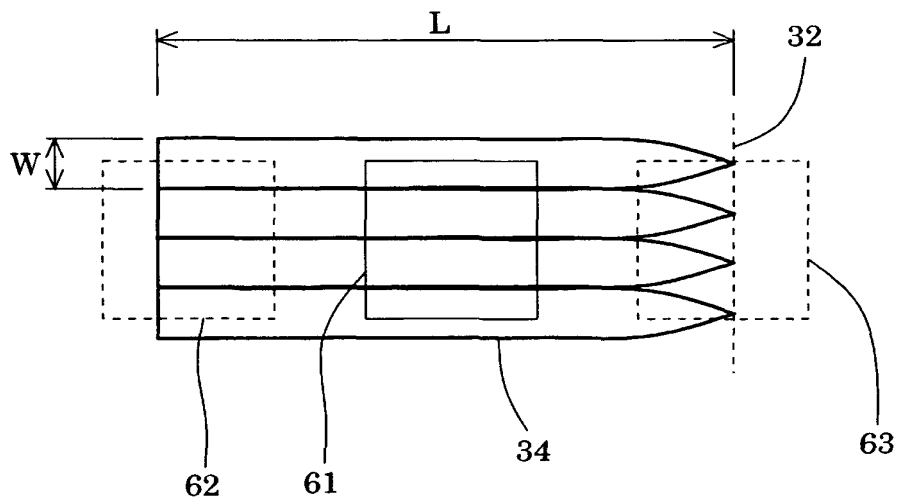
【図 9】



【図 10】

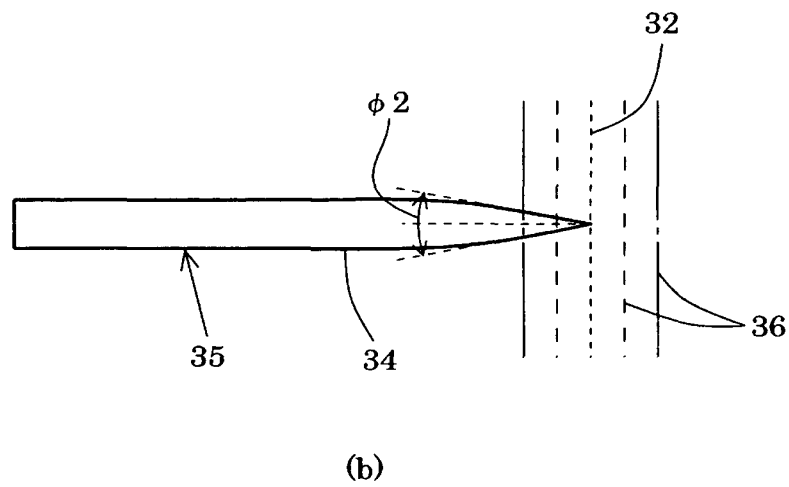
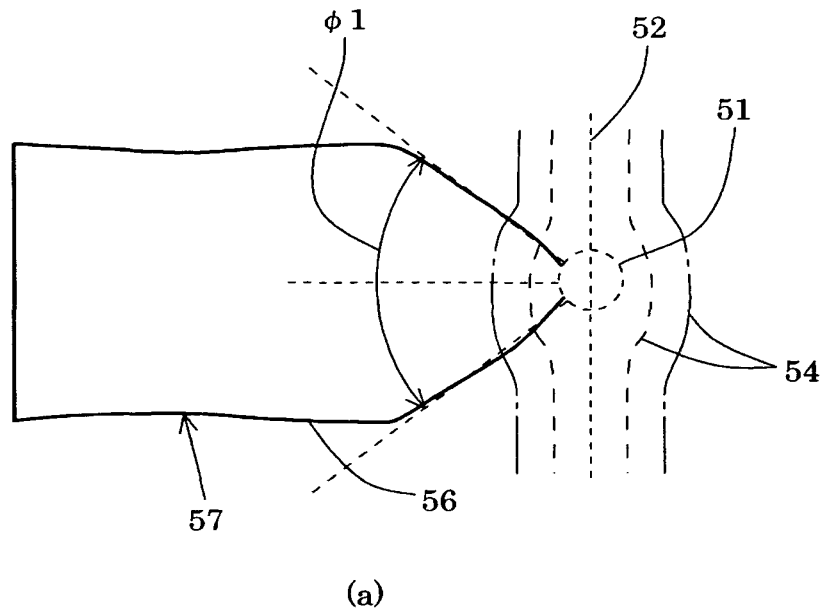


(a)

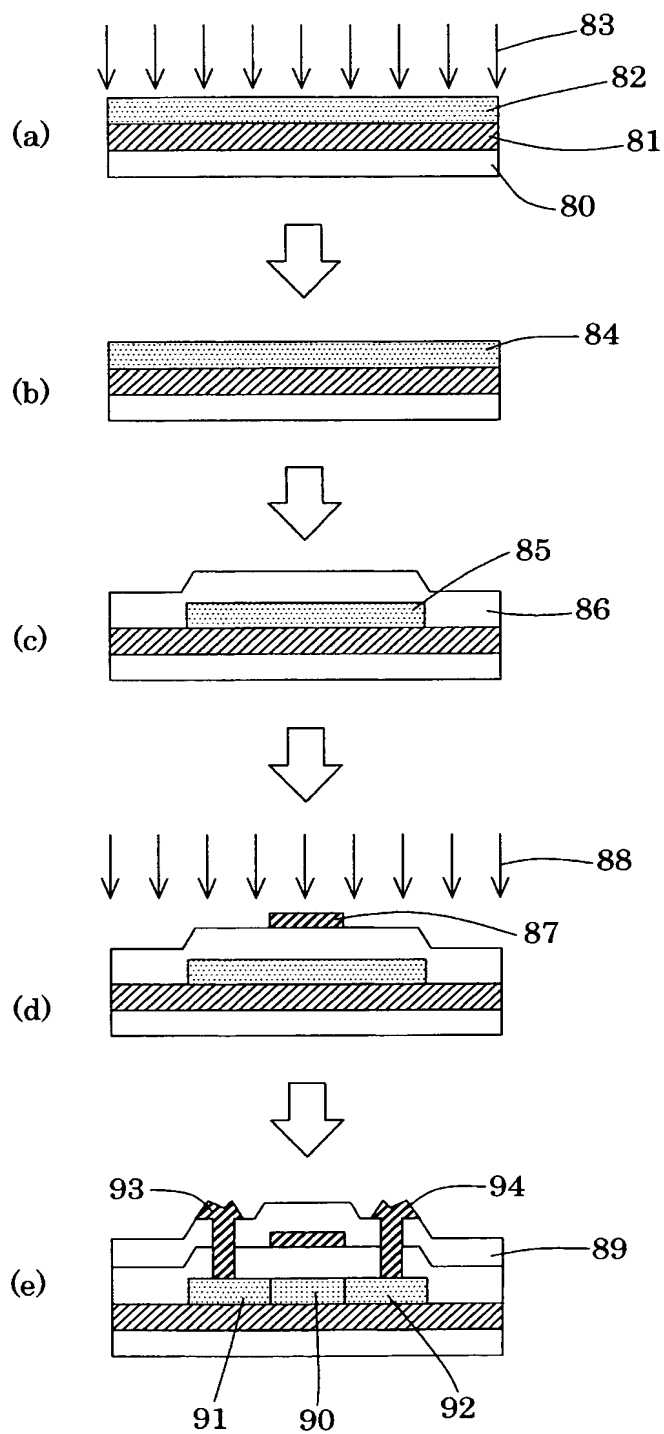


(b)

【図 11】



【図 12】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 結晶核の位置を制御することができ、ひいては結晶の形成領域を二次元的にはほぼ制御することのできる結晶化装置。

【解決手段】 位相シフトマスク（１）を照明する照明系（２）を備え、位相シフトマスクの位相シフト部に対応する領域において光強度の最も小さい逆ピークパターンの光強度分布を有する光を多結晶半導体膜（３）または非晶質半導体膜（３）に照射して結晶化半導体膜を生成する結晶化装置。位相シフトマスクは、ほぼ直線状の境界線の両側に形成されて第１の位相差を有する第１領域および第２領域と、境界線に沿って第１領域および第２領域のうちの少なくとも一方の領域に形成された所定形状の微小領域とを備え、微小領域が形成された第１領域または第２領域と微小領域との間には第２の位相差が付与されている。

【選択図】 図 1

認定・付加情報

特許出願の番号	特願 2 0 0 2 - 2 6 2 2 4 9
受付番号	5 0 2 0 1 3 4 2 0 5 0
書類名	特許願
担当官	第六担当上席 0 0 9 5
作成日	平成 1 4 年 9 月 1 0 日

<認定情報・付加情報>

【提出日】 平成14年 9月 9日

次頁無

特願 2 0 0 2 - 2 6 2 2 4 9

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[5 0 1 2 8 6 6 5 7]

1 . 変更年月日

2 0 0 1 年 7 月 1 8 日

[変更理由]

新規登録

住 所

神奈川県横浜市戸塚区吉田町 2 9 2 番地

氏 名

株式会社 液晶先端技術開発センター